

磁気熱材料と超伝導材料の複合機器の開発

研究代表者 理工学研究部（工学系） 西村 克彦

(1) プロジェクトの背景・目的

磁気熱量効果による冷凍機器をデザインするとともに、その機器で超伝導材料を冷却して、マイスナー効果を活用した磁気浮上機器を考案する。

超伝導材料を利用した装置の短所は低温を必要とすることである。一般に低温は気体の断熱圧縮で生成されるが、近年、磁気熱効果を利用した冷凍技術が高いエネルギー効率や低い環境負荷の観点から注目されている。

一方、YBCO ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$) に代表される酸化物高温超伝導体は、材料の脆性のため線材開発がなかなか進んでいない。そこで、YBCO を超伝導バルク材として利用する方法を考える。例えば、YBCO の超伝導臨界温度 90 K 付近で高い磁気熱効果をもつ磁気熱材料を開発し YBCO と複合化して、マイスナー効果による磁気浮上機器を設計する。

(2) 研究成果

平成 18 年度は、GdCu の電氣的・磁氣的・機械的性質と $\text{GdNi}_{1-x}\text{Cu}_x$ の磁気熱量特性を調べた。GdCu は、アルゴンガス雰囲気中でアーク溶解により作成した。アーク溶解後の GdCu は、立方晶 CsCl 型の結晶構造を持つ。同じ試料を冷却していくと 240 K 付近から結晶構造変態が始まり、4 K まで冷却すると約 75% の斜方晶 FeB 型、約 25% の立方晶 CsCl 型が混在した結晶構造を持つようになる。この割合は、逆変態温度（約 600 K）まで保たれる。図 1 に電気抵抗率の温度変化を示す。

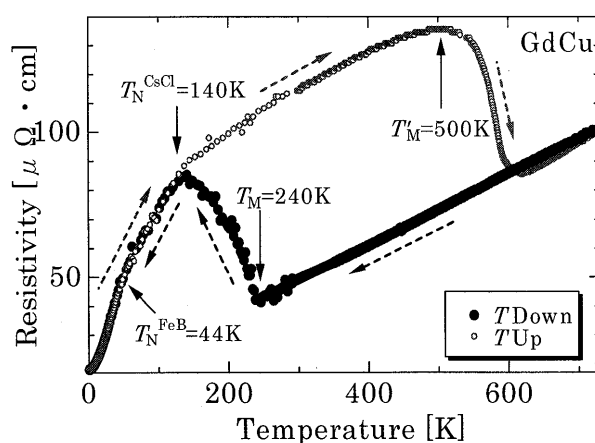


図 1

マルテンサイト変態および逆変態で、電気抵抗率が 50% 程度変化する。同様に、この結晶変態が熱伝導度や熱電能に及ぼす効果を調べた。図 1 の熱伝導度の温度変化から明らかなように、結晶変態で、熱伝導度は約 1/2 に小さくなる。また、図 3 の熱電能の温度変化では結晶変態で、熱電能は約 1/10 に小さくなることからわかる。機械的堅さも大きく異なることがわかった。300 K における GdCu のビッカース堅さは、CsCl 型において約 150 H v であり、ハンマーでたたくと柔らかくてつぶれる。FeB 型において堅さは約 300 H v であり、ハンマーでたたくと簡単に粉々に砕ける。よって、結晶構造の変化は、ハンマーでたたくことで簡単にわかる。

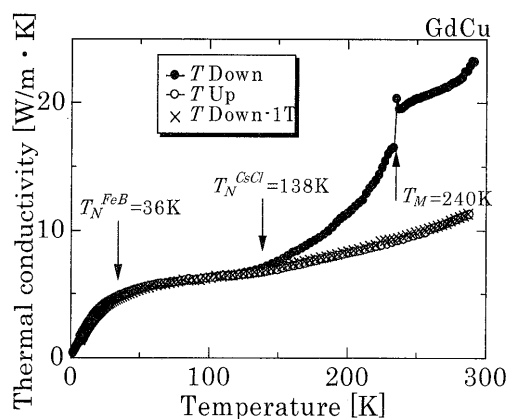


図 2

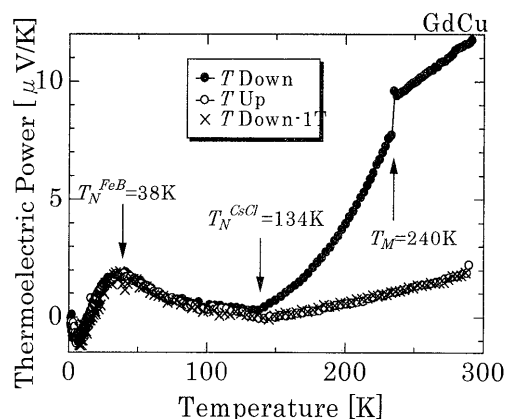


図 3

GdNi_{1-x}Cu_x の磁気特性研究から、Cu 濃度が 35%までこの化合物は強磁性状態に磁気オーダーすることがわかった。Cu 濃度が 40%以上になると反強磁性化合物となり磁気熱量効果は小さくなる。図 4 に、磁化測定結果から算出した、磁気エントロピー変化を示す。外部磁場 4 T まで印加した磁化データから、Maxwell 式の近似 $\Delta S_{mag} = \frac{1}{\Delta T} \int_0^H (M_{T_1} - M_{T_2}) dH$ を適用して算出した。Cu 濃度 35%まで、比較的大きな磁気熱量効果があることがわかった。

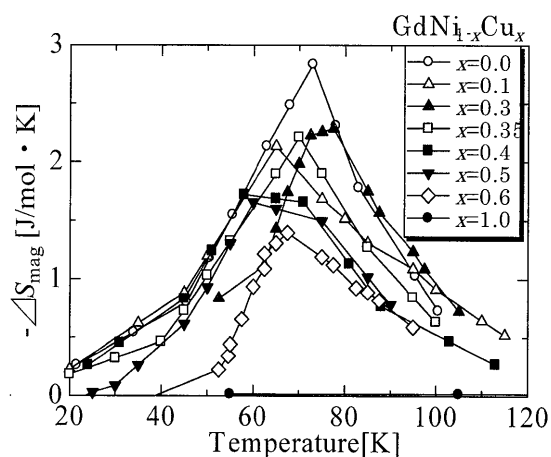


図 4

(3)プロジェクト成果（特許，起業，技術移転等）

今回の研究成果は、「室温付近で電氣的・熱的・機械的特性に大きな熱履歴を持つ材料」という発明名称で、発明委員会に報告した。審査の結果、発明内容は大学の帰属とならなかった。

(4)プロジェクト成果の応用・効果・構想

今後、新規な磁気熱量材料の開発と、磁気冷凍機器の開発作成を進めていく。

(5)利用施設

この研究では、総合研究棟 1 階に導入されている「極限環境先進材料評価システム」を利用して、作成した材料の電気・磁気・熱特性を総合的に評価している。利用日数は、一月に 8 日程度、年間 80 日程度である。（本システムでは、保守点検や修理のために 50 日程度をあてている）